L'exposé pas à pas

- Les précurseurs (convenus) des ordinateurs
- Ont-ils tout inventé ?
- Addition mécanique
  - Addition de chiffres ou de nombres
  - Représentation des chiffres décimaux
  - Addition des nombres
    - Comptometer
    - Hélice de retenues
  - Soustraction
  - Exemples (addition/soustraction)
    - Thales Klein Addier
    - Olivetti Summa Quanta
    - Tchebychev et Marchant
- Multiplication mécanique
  - Multiplication semi-automatique
  - Multiplication automatique
  - Multiplication directe
  - Actionneur
- Division mécanique
- Racine carrée mécanique

© Alain Guyot 2013

Additionneurs à retenue anticipée

Cet type d'additionneur fonctionne en 2 temps

1- Addition chiffre à chiffre modulo 10.
Les retenues sont signalées lors du passage de 9 à 0.

2-a Chaque engrenage entre 9 et 0 est solidarisé avec l'engrenage suivant.
Ainsi s'il tourne le suivant tourne également.
2-b Les retenues signalées sont ajoutées toutes ensemble. L'énergie vient d'un moteur.

Ainsi le délai de l'addition est indépendant du nombre de chiffres.

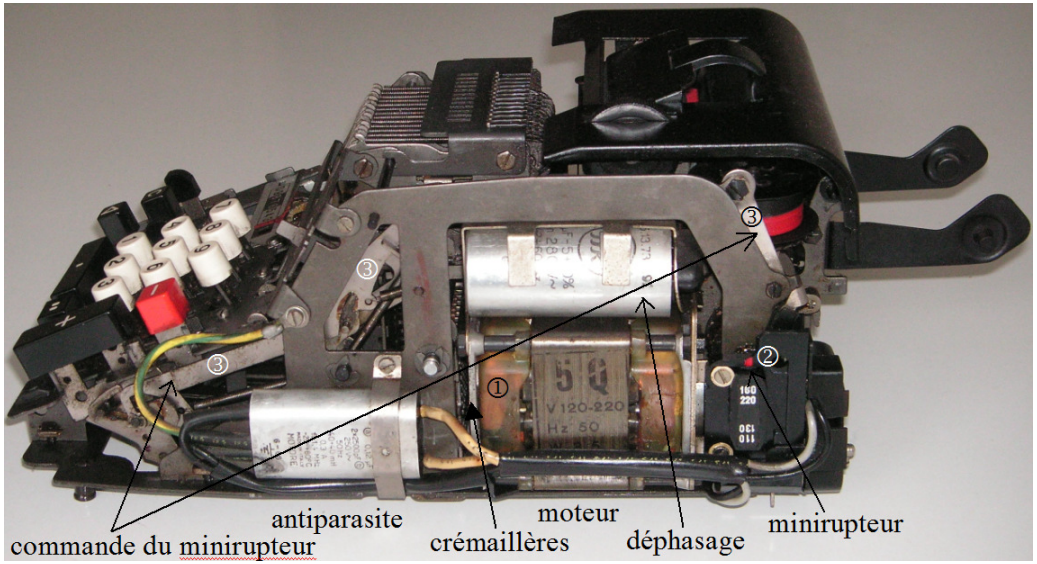
Remarque: un chiffre dont la retenue est signalée est < 9. Il n'y a pas de rétropropagation

Le grand Charles Babbage avait proposé un mécanisme équivalent, d'une grande complexité, pour la machine analytique. Il était très fier de ce mécanisme qui fut construit par son fils Henry et qui l'encouragea à tenter en 1834 la construction de la machine analytique.

© Alain Guyot 2013

Olivetti summa quanta

Machine à retenue anticipée



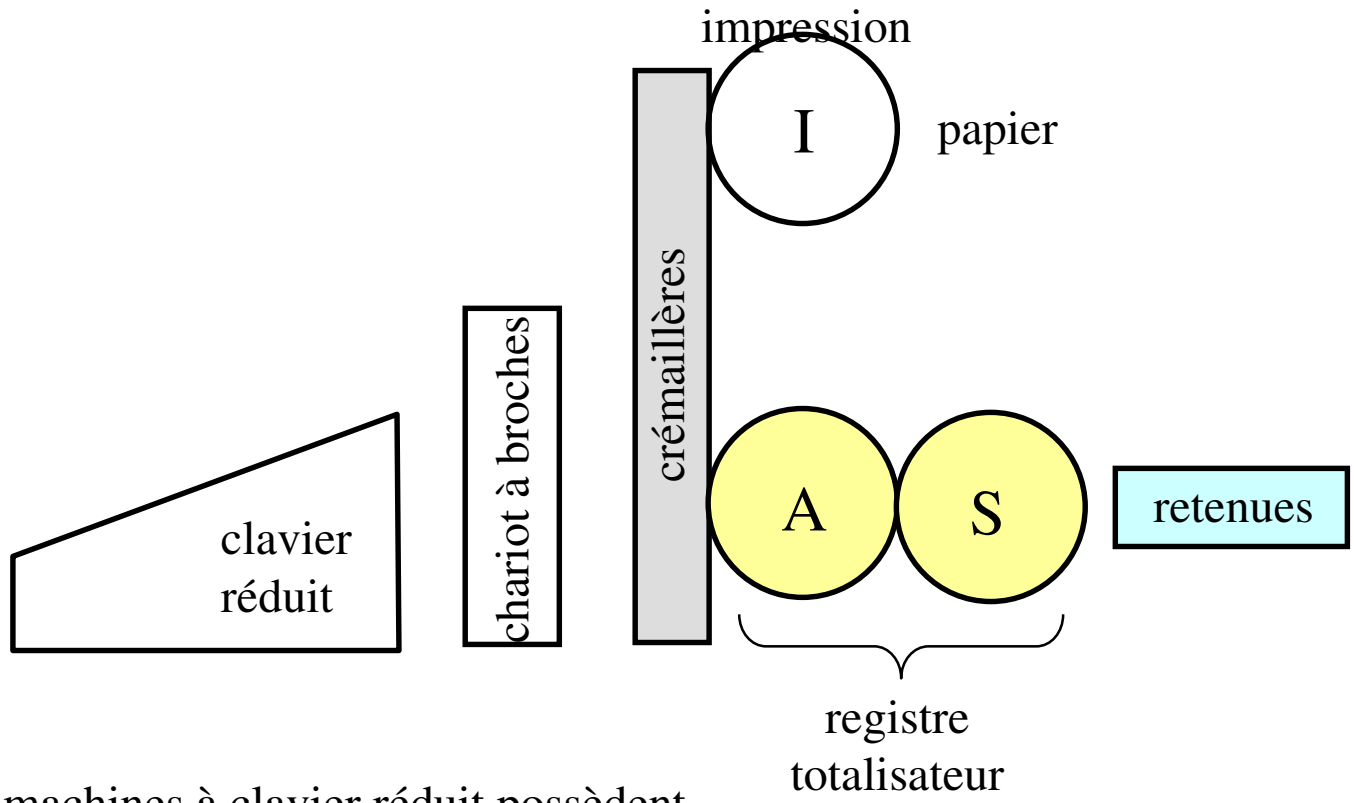
ACONIT -N° inventaire 19747

Première famille de machines à introduire la notation signe/valeur-absolue
(pratiquée par les humains comme vous et moi)
sous le nom « solde négatif » imprimé avec le caractère " – " .[1]

[1] Ce signe est imprimé à droite du nombre et non à gauche comme nous l'écrivons vous et moi.

© Alain Guyot 2013

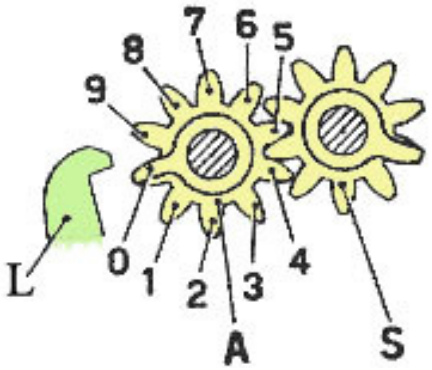
Olivetti principe



Toutes les machines à clavier réduit possèdent un chariot (traîneau) de pose.
chariot = chariot × 10 + valeur de la touche

© Alain Guyot 2013

Registre totalisateur



Un chiffre du totalisateur est mémorisé par une roue formée d'un engrenage à 10 dents en tôle découpée et d'une dent supplémentaire, soudée à l'engrenage, qui marque le 0.

Cette roue **A** est en permanence engrené avec une roue semblable **S**, qui tourne donc en sens inverse.

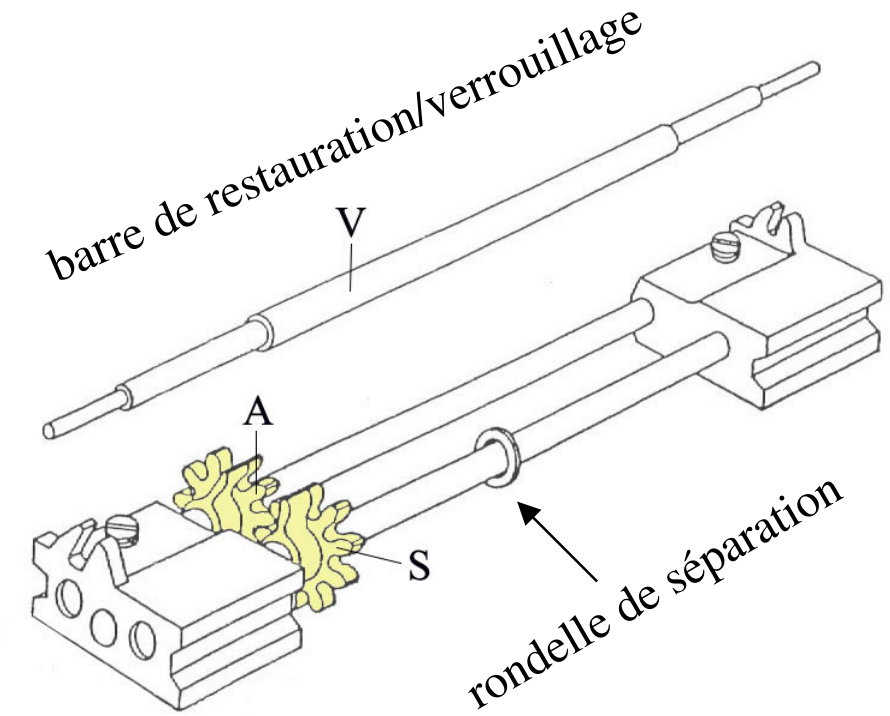
Ces deux roues sont calées au montage de façon que si l'une indique 0, l'autre indique 9 (complément à 9)

Une butée **L** détecte le passage de **A** de 9 à 0.

On verra plus tard qu'une autre butée **h** jour un rôle symétrique pour **S**

© Alain Guyot 2013

Assemblage du registre

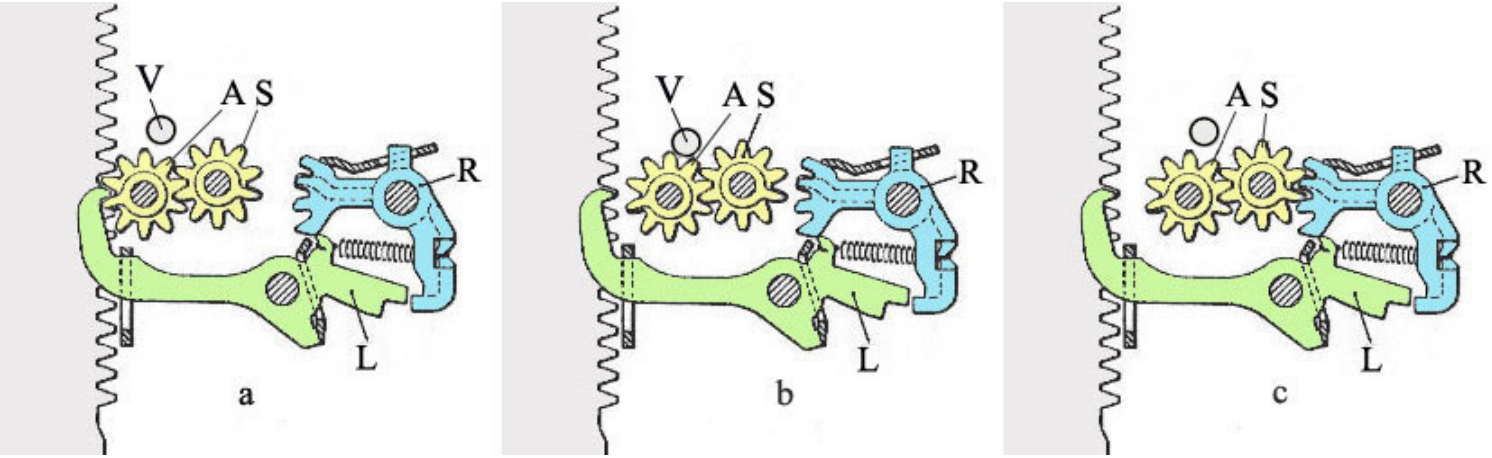


Un registre est formé de l'empilement de roues **A** et **S** au pas de 3,5 mm sur deux axes parallèles solidement assemblés

Une barre de restauration **V** s'insère entre les dents des engrenages et assure qu'ils occupent des position discrètes.

© Alain Guyot 2013

Déplacement du registre

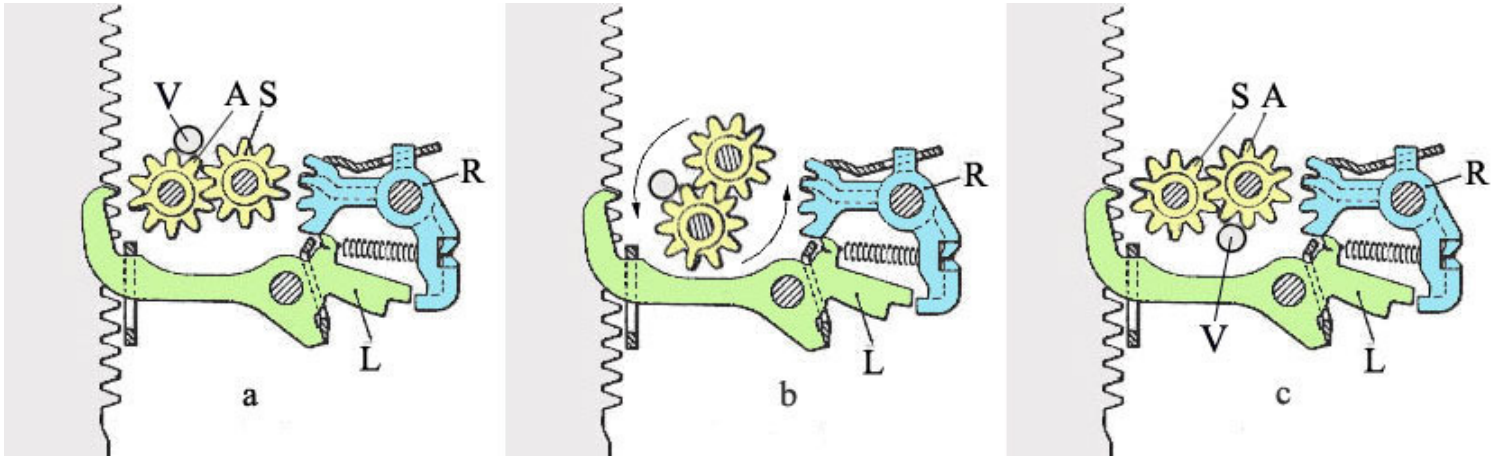


Le registre peut être déplacé.
(a) Vers la gauche, l'engrenage à dix dents **A** engrène une crémaillère (actionneur). Le passage de 0 à 9 pousse la butée **L** vers le haut, le passage de 9 à 0 la pousse vers le bas.
(b) Au centre les engrenages sont immobilisés par la tige de verrouillage **V**. Les crémaillères sont désengrenées.
(c) Vers la droite, l'engrenage à dix dents **S** engrène un segment d'engrenage à quatre dents **R**, le passage de 9 à 0 de **S** entraîne par une dent unique (pointillé) ce segment **R** vers le bas.

© Alain Guyot 2013

Rotation du registre

complémentation à 9 du registre

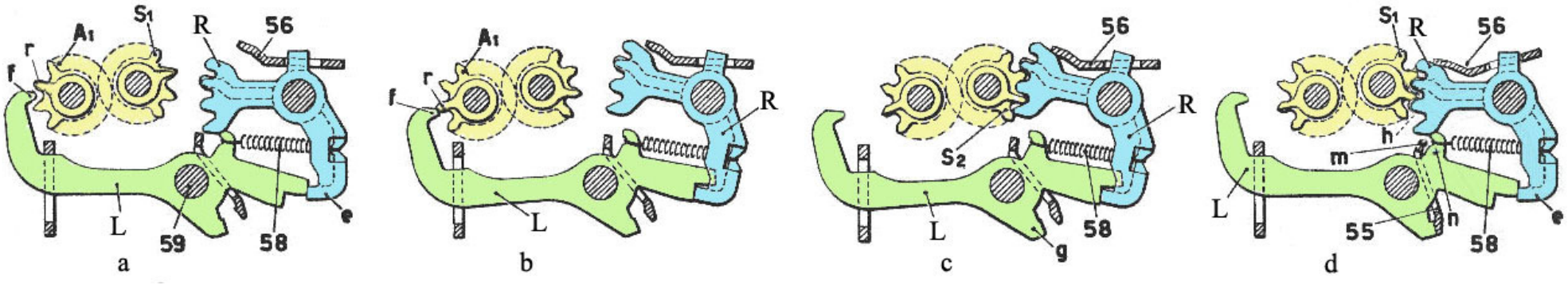


Lorsqu'il est en position centrale, le registre peut pivoter pour échanger **A** et **S**, ce qui revient à complémenter la valeur du registre. La tige de verrouillage **V** ne libère le registre que lorsqu'il s'engrène soit avec les crémaillères soit avec les segments **R**.

© Alain Guyot 2013

Retenues primaires

le passage de 9 à 0 est détecté, signalée puis propagé

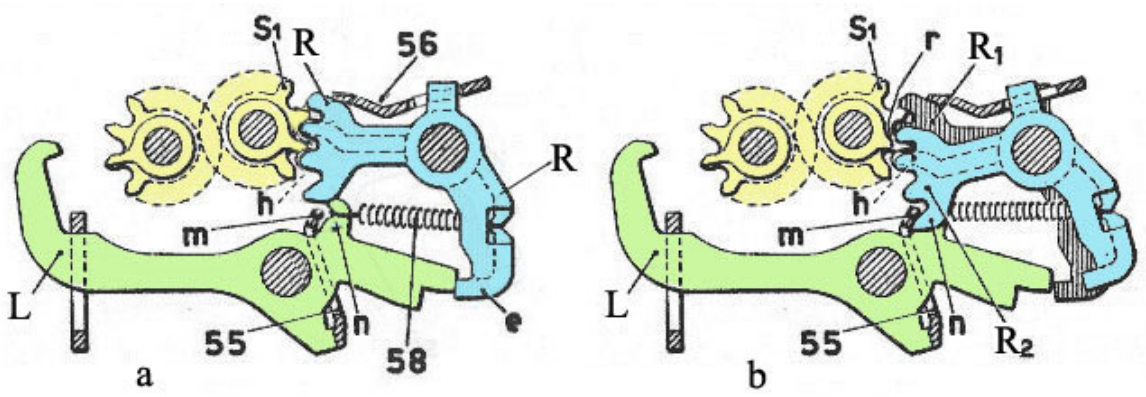


Lorsque la roue **A** est entraînée par la crémaillère, la dent **r** peut pousser la butée **f** du levier **L** vers le bas. Le basculement du levier **L** libère la butée **e** de la pièce R qui bascule à son tour. Cette position est stable (b). La retenue est signalée (mémorisée).
Ensuite le registre se déplace vers la droite (c), la roue **S** engrène le segment **R**. Enfin ce segment **R** est ramené par le peigne 56, ce qui incrémente **A** de 1 (d). La retenue est propagée.
Ce fonctionnement s'applique évidemment simultanément à tous les chiffres.

© Alain Guyot 2013

Retenues secondaires

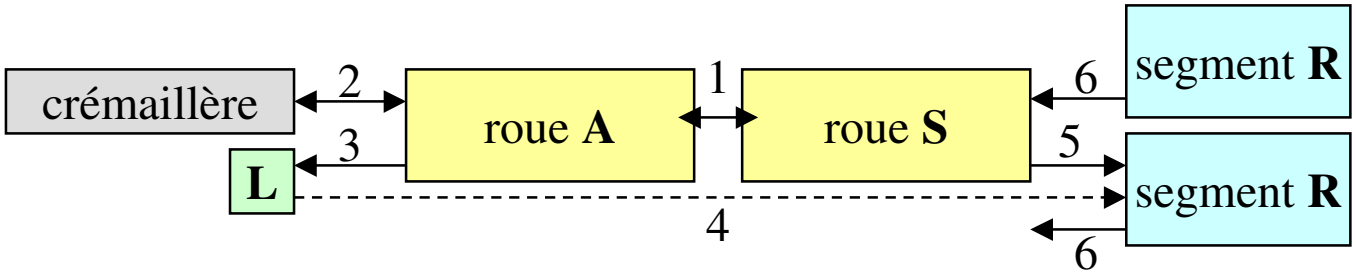
entre 9 et 0 une roue est engrenée avec la suivante



Tant que les roues **S** sont engrenées avec les segments **R**, le passage d'une roue **S** de 9 à 0 abaisse un segment **R** qui entraîne la roue suivante. En effet, le segment **R**, outre ses 4 dents qui engrènent l'engrenage **S**, possède une dent unique **h**, dessinée en pointillé car cachée, qui se trouve dans le plan de la dent **r** de la roue **S** précédente. Lors du passage de 9 à 0, la dent **r** pousse par sa dent **h** le segment **R** vers le bas.
Ainsi, une retenue sur une roue dont la valeur est 9 entraîne l'incrémentation de cette roue et de la roue suivante.

© Alain Guyot 2013

Résumé des connexions



1- Les roues **A** et **S** sont toujours engrenées

2- La crémaillère peut lire le registre **A** (destructive) ou ajouter au registre **A**
3- le passage de 9 à 0 du registre **A** est mémorisé par le levier **L** (retenue primaire)

4- le levier **L** positionne le segment **R** (retenue primaire)

5- le passage de 0 à 9 de **S** positionne le segment **R** (retenue secondaire)
6- le segment **R** incrémente **A** par l'intermédiaire de **S** (retenue)

© Alain Guyot 2013

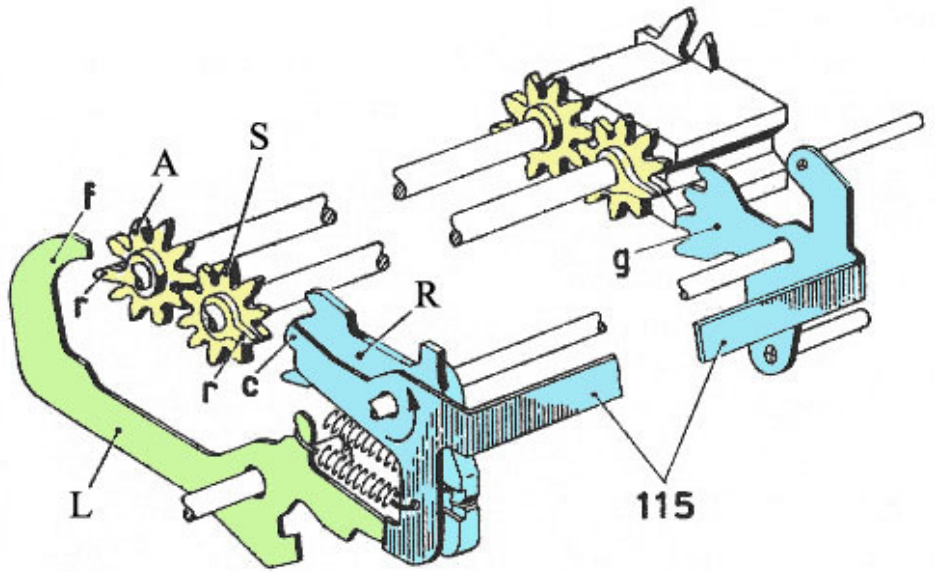
Mouvements du segment **R**

Mouvement de **R**		Actionneur du mouvement
0 → ↑	retenue détectée, mémorisée	crémaillère, dent r, pièce L, ressort 58
↑ → 0	retenue primaire propagée	moteur, came, axe 54, peigne 56
0 → ↓	retenue secondaire propagée	dent r, dent h
↓ → 0		désengrènement, ressort 58

↑ indique position haute
0 indique position centrale
↓ indique position basse

© Alain Guyot 2013

End-around-carry (EAC) adder



La retenue sortant du chiffre poids fort est recueillie par la dent **c** d'une barre **115**, qui fait toute la longueur du registre, puis est réinjectée comme retenue entrante en poids faible par le segment **g**.
Une retenue rebouclée indique un changement de signe du registre. Le signe du registre est mémorisé à ce moment.

© Alain Guyot 2013

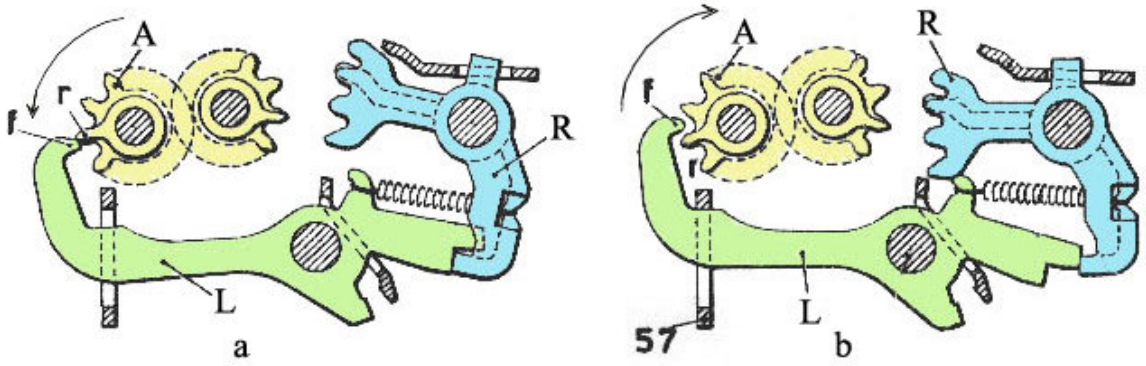
Exemples de soustraction

Exemple 1 : 17 – 8	A	S	Retenues R
Valeurs initiales	0000000017	9999999982	0000000000
Échange de A et S	9999999982	0000000017	0000000000
Plus 8 sans retenue	9999999980	0000000019	0000000↑0
Addition de retenues	9999999990	0000000009	0000000000
Échange de A et S	0000000009	9999999990	0000000000

Exemple 2 : 17 – 20	A	S	Retenues R
Valeurs initiales	0000000017	9999999982	0000000000
Échange de A et S	9999999982	0000000017	0000000000
Plus 20 sans retenue	9999999902	0000000097	0000000↑00
Addition de retenues	0000000003	9999999996	↓↓↓↓↓↓00↓
Échange de A et S	9999999996	0000000003	0000000000

© Alain Guyot 2013

Remise à zéro du totalisateur

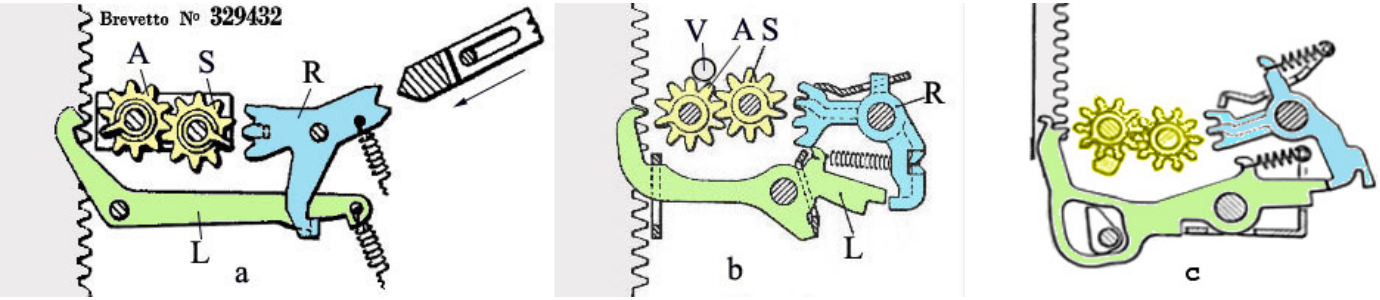


Le même levier **L** qui sert à détecter le passage de la roue de 9 à 0 sert dans l'autre sens à bloquer la roue à zéro. [1]

[1] La remise à zéro sert aussi à lire la valeur du registre. Cette lecture est destructrice et est suivie éventuellement d'une restauration

© Alain Guyot 2013

Principe pérenne



Le système d'addition/soustraction s'est retrouvé dans tous les modèles d'Olivetti et son principe n'a guère varié de 1941 (a) à 1967 (c).

© Alain Guyot 2013

L'exposé pas à pas

- Les précurseurs (convenus) des ordinateurs
- Ont-ils tout inventé ?
- Addition mécanique
  - Addition de chiffres ou de nombres
  - Représentation des chiffres décimaux
  - Addition des nombres
    - Comptometer
    - Hélice de retenues
  - Soustraction
  - Exemples (addition/soustraction)
    - Thales Klein Addier
    - Olivetti Summa Quanta
    - Tchebychev et Marchant
- Multiplication mécanique
  - Multiplication semi-automatique
  - Multiplication automatique
  - Multiplication directe
  - Actionneur
- Division mécanique
- Racine carrée mécanique

© Alain Guyot 2013

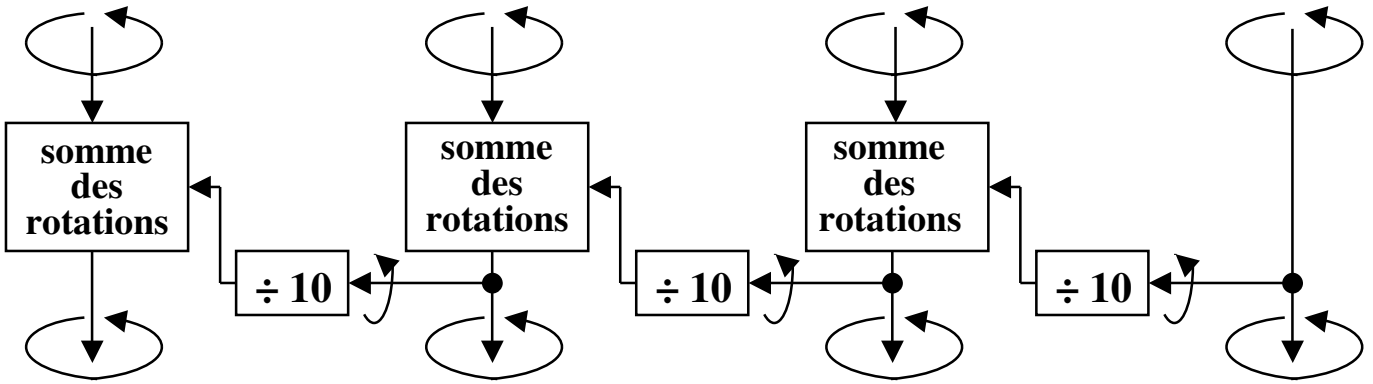
Additionneurs à mouvement continu

Ce type d'additionneur propage la retenue sans à-coups.

Le mouvement de chaque afficheur est divisé par 10 (par un réducteur) et ajouté en continu à l'afficheur suivant.

Ce mécanisme se prête bien à la soustraction par inversion du sens de rotation

A la fin, un mécanisme de discrétisation/restauration peut être appliqué.
Ce dernier mécanisme introduit une propagation.



© Alain Guyot 2013

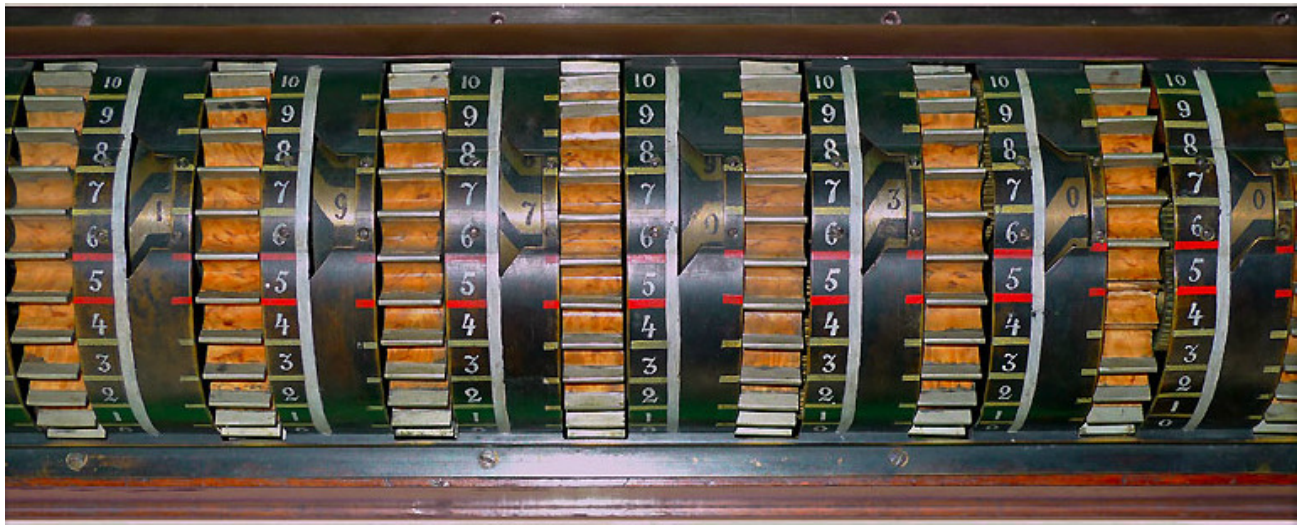
Additionneur de Tchebychev (1876)

Le célèbre mathématicien russe Pafnouti Lvovitch Tchebychev (1821–1894) est aussi l'inventeur de plusieurs machines à calculer. Celle ci, fabriquée vers 1876, peut faire des additions et des soustractions de nombres ayant jusqu'à 10 chiffres.
Pour le transport, un couvercle en bois protégeait la partie supérieure.

© Государственный музей истории Санкт-Петербурга
(Musée national d'histoire de Saint-Pétersbourg)
un exemplaire fut donné au CNAM en 1893

© Alain Guyot 2013

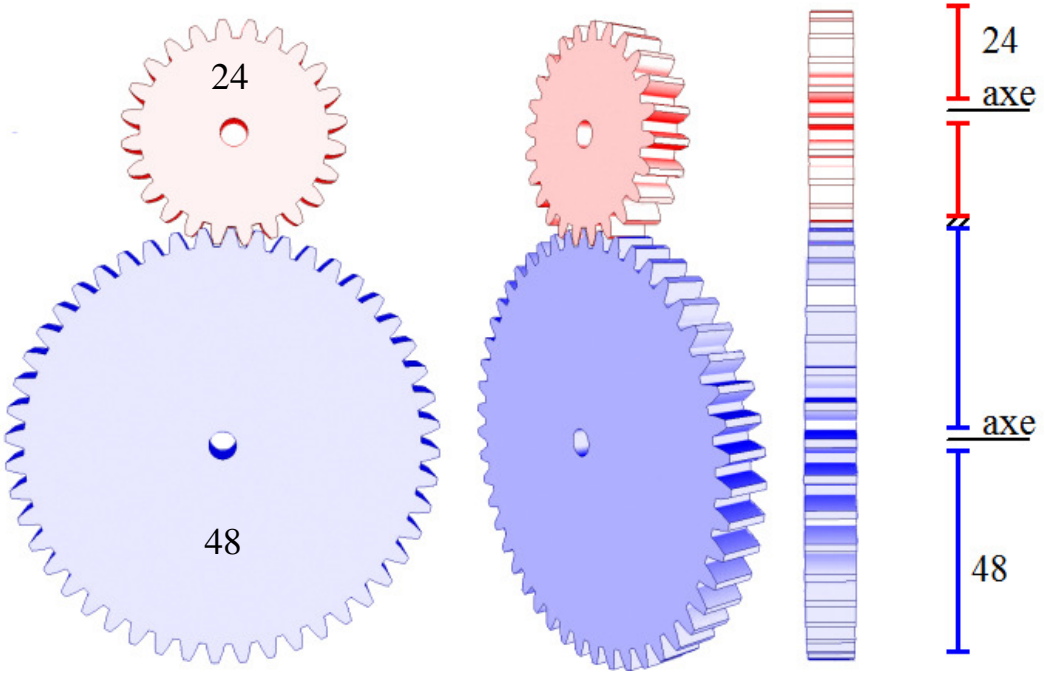
Mode d'emploi de la machine



Pour ajouter un chiffre, on introduit un stylet dans un cran d'une roue réceptrice crantée, à coté de la valeur de ce chiffre peinte en blanc sur le capot, puis on amène ce stylet en butée vers 0, faisant ainsi tourner la roue réceptrice d'un angle proportionnel à la valeur du chiffre. Pour ajouter un nombre, on ajoute tous ses chiffres par les roues réceptrices correspondant à leur rang, l'ordre de pose des chiffres est indifférent.
Pour soustraire, on fait tourner les roues réceptrices dans le sens opposé, c'est-à-dire qu'on introduit le stylet dans le cran à coté du 0 puis on le ramène en face du chiffre inscrit en blanc.
Pour remettre à zéro, il suffit de soustraire la somme apparaissant dans les lucarnes.

© Alain Guyot 2013

Convention de dessin d'engrenages



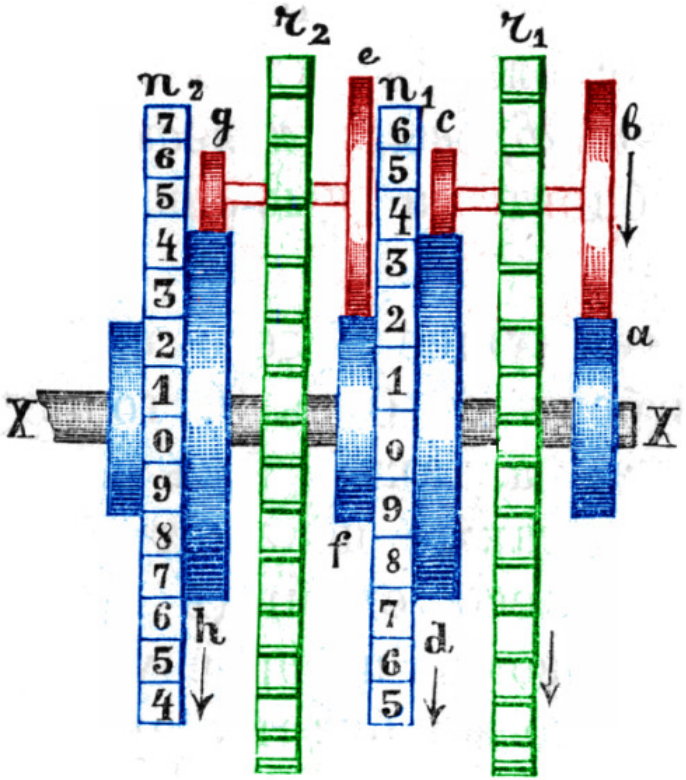
Les engrenages de profil ne sont pas lisibles

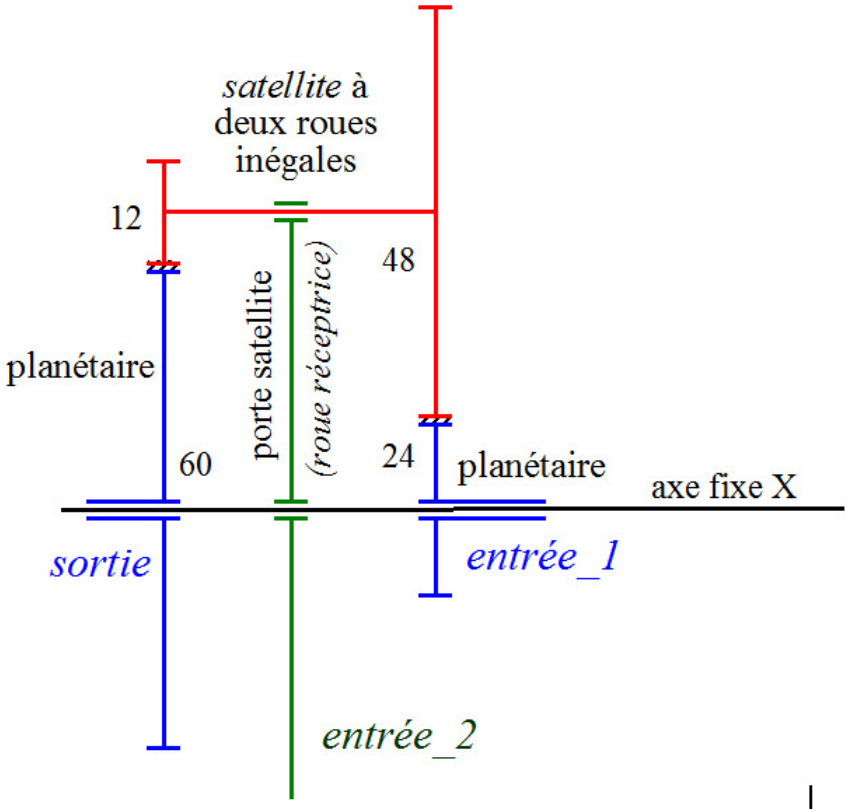
On les représente par des bâtons colorés.
Le point de contact (roulement sans glissement) est indiqué par des hachures

Le nombre de dents de l'engrenage est indiqué près du bâton.

© Alain Guyot 2013

Totalisateur de Tchebychev



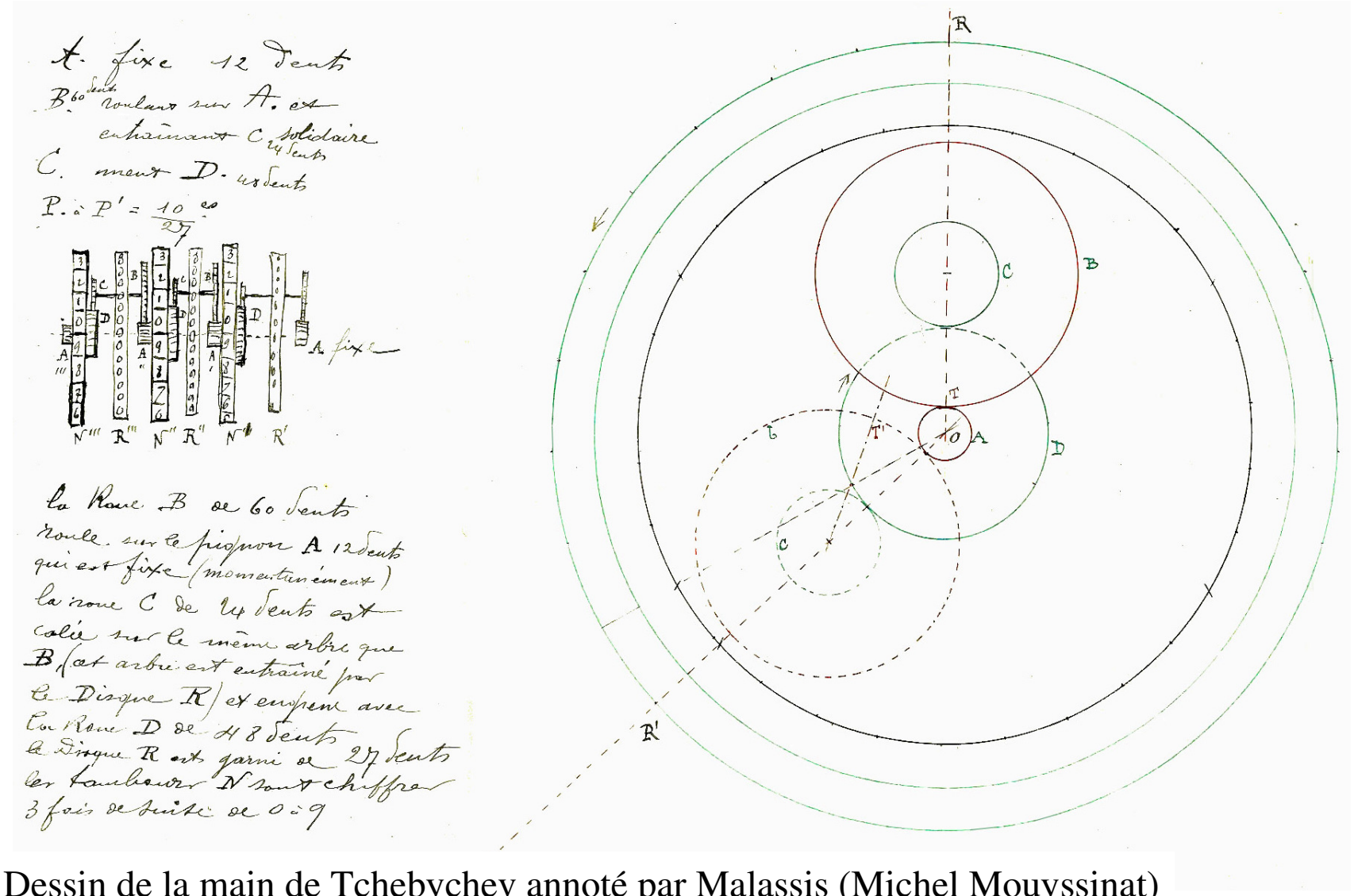


Вѣстникъ Опытной Физики 1895
bulletin de physique expérimentale

$$\frac{sortie}{entrée_1} = \frac{24}{48} \times \frac{12}{60} = \frac{1}{10}$$

© Alain Guyot 2013

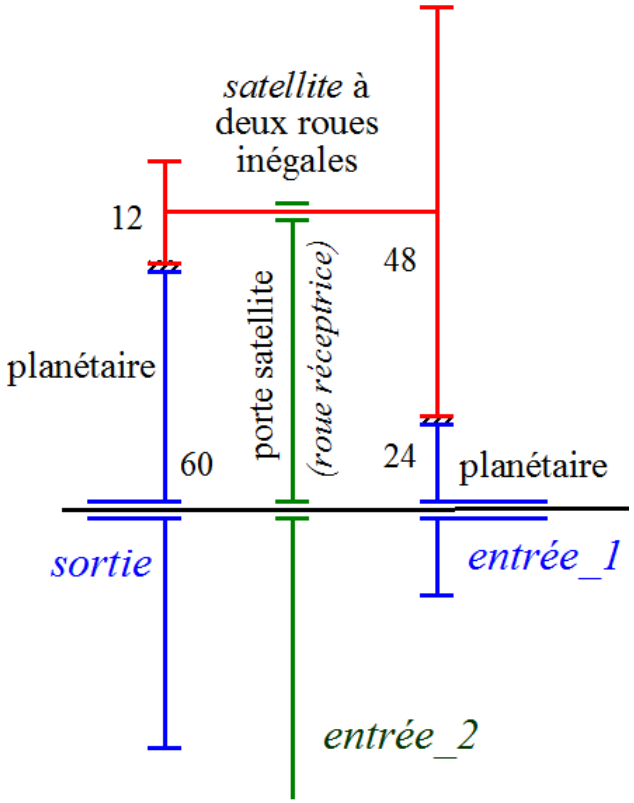
Dessin de Tchebychev



Dessin de la main de Tchebychev annoté par Malassis (Michel Mouyssinat)

© Alain Guyot 2013

Dimensionnement du totalisateur



Les tambours d'affichage sont reliés entre eux par un *train épicycloïdal avec satellite à deux roues*. La rotation de la *sortie*, qui porte le tambour d'affichage est la somme pondérée des rotations des *entrée_1* et *entrée_2*. L'*entrée_1* est la *sortie* du rang immédiatement à droite et l'*entrée_2* est la *roue réceptrice* crantée.

$$sortie = \frac{1}{10}\, entrée_1 + \frac{9}{10}\, entrée_2$$ (formule de Willis [1])

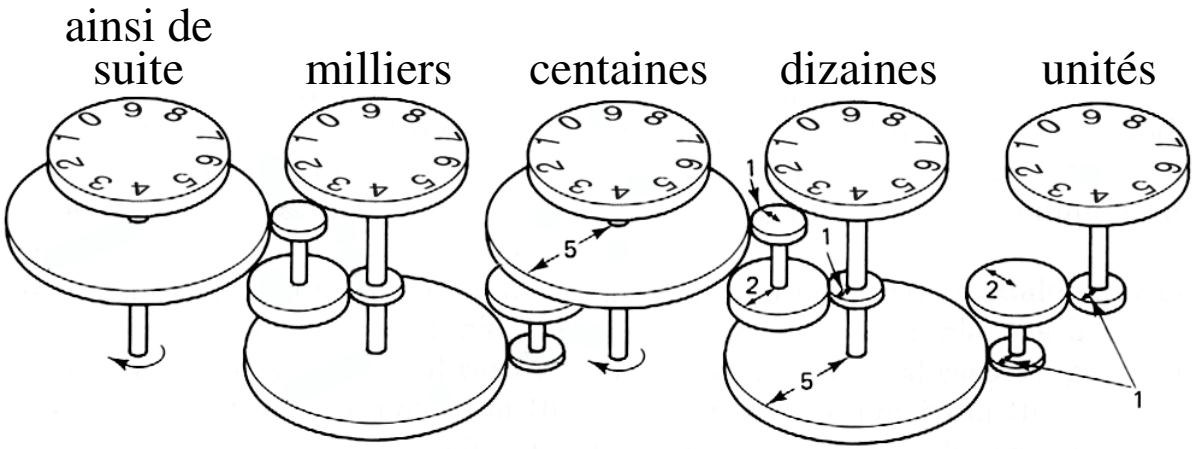
Le tambour d'affichage a 30 chiffres et la *roue réceptrice* a 27 crans

Remarque: la *roue réceptrice* et le tambour d'affichage tournent en sens inverse

[1] Robert Willis "Principles of mechanism" Longmans, Green & Co., London, 1st edition 1841

© Alain Guyot 2013

Exemple d'addition (99999 + 1)



Supposons que le totalisateur affiche 99999. On ajoute 1.

- La roue des unités va tourner de un dixième de tour et afficher 0
- La roue des dizaines va tourner de un centième de tour (affiche 9,1)
- La roue des centaines va tourner de un millième de tour (affiche 9,01)
- La roue des milliers va tourner de un dix-millième de tour (affiche 9,001)
- et ainsi de suite

La résultat est correct mais illisible.

dans cet exemple on a pris 10 chiffres par tour
la machine de Tchebychev a 30 chiffres par tour.

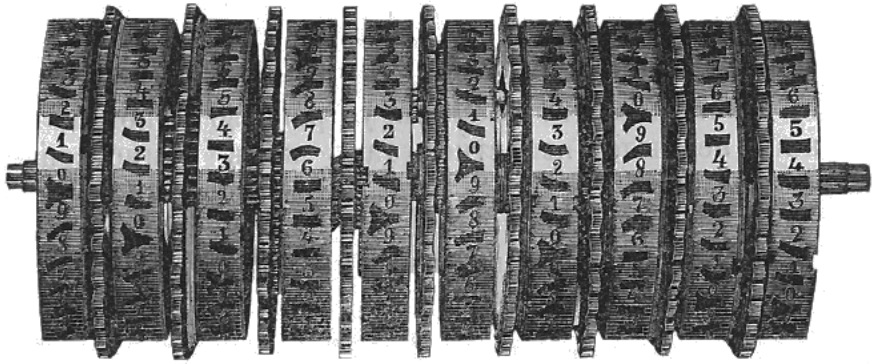
© Alain Guyot 2013

Indicateurs de Tchebychev

En fait la machine ne peut pas afficher 999999 (000000 non plus d'ailleurs)

Tchebychev a très clairement (brillamment même) expliqué comment contourner ce problème (communication à l'Association française pour l'avancement des sciences du 26 août 1882)

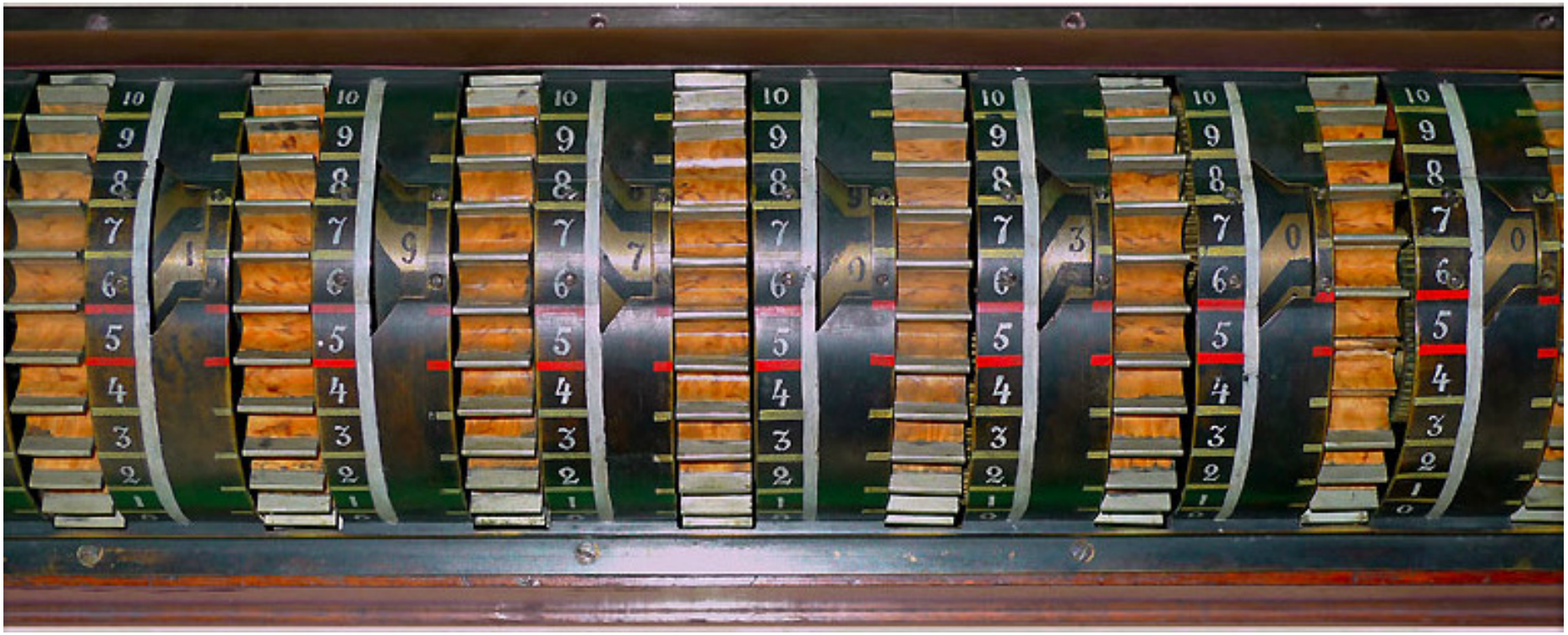
Si deux chiffres apparaissent dans la fenêtre, il y a ambiguïté.
Pour choisir il faut examiner le chiffre précédent (poids moindre).
Si le chiffre précédent est grand, il faut choisir le chiffre du bas, s'il est petit il faut choisir le chiffre du haut.
S'il est lui-même ambigu il faut lever l'ambiguïté. Le chiffre des unités n'est jamais ambigu.
Ainsi $0\,\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,9$ doit se lire $0\,0\,9\,9\,9\,9\,9\,9$ et $0\,\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,0\,\begin{matrix}0\\9\end{matrix}\,0$ se lire $0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0$.



Tchebychev a indiqué sur son afficheur quel chemin choisir pour lire un nombre, de droite à gauche.

© Alain Guyot 2013

Exemple de lecture du totalisateur



Le totalisateur affiche 0970300

© Alain Guyot 2013

L'additionneur Burroughs de 1910

Utilise des trains épicycloïdaux

L'additionneur de Burroughs est un concurrent du Comptometer de Felt & Tarrant auquel il ressemble extérieurement [1].

Dans ces deux machine on peut poser plusieurs chiffres simultanément (additionneur de nombres)

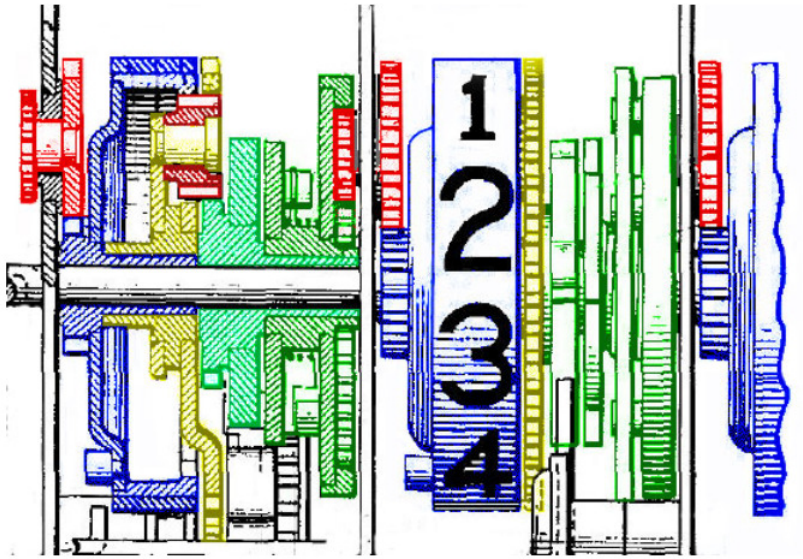
La solution pour gérer le conflit entre pose et retenue est très différente dans les deux machine [1].

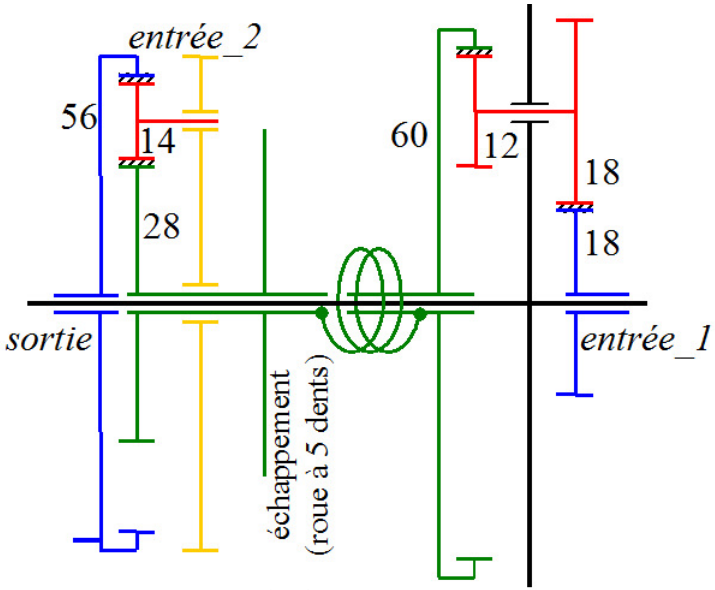
(Nous avons vu le comptometer, on peut y retourner si vous le souhaitez)

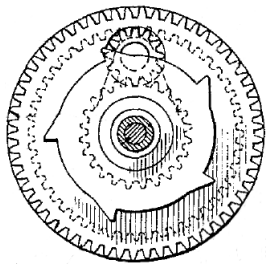
[1] Les deux constructeurs se sont déchirés en procès en 1912. Burroughs a modifié sa machine.

© Alain Guyot 2013

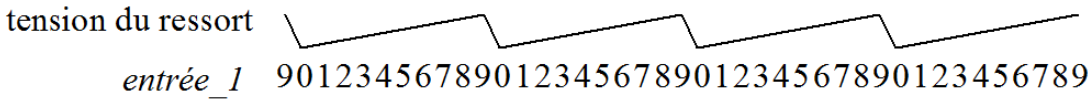
Totalisateur de la Burroughs de 1910





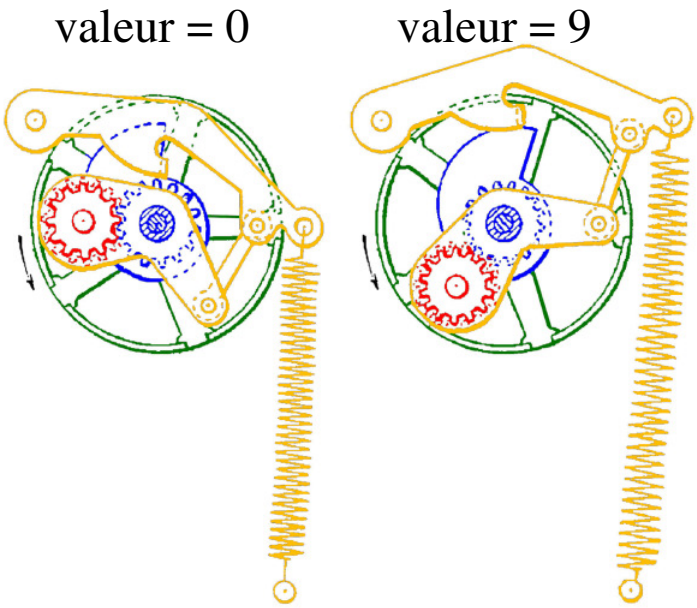


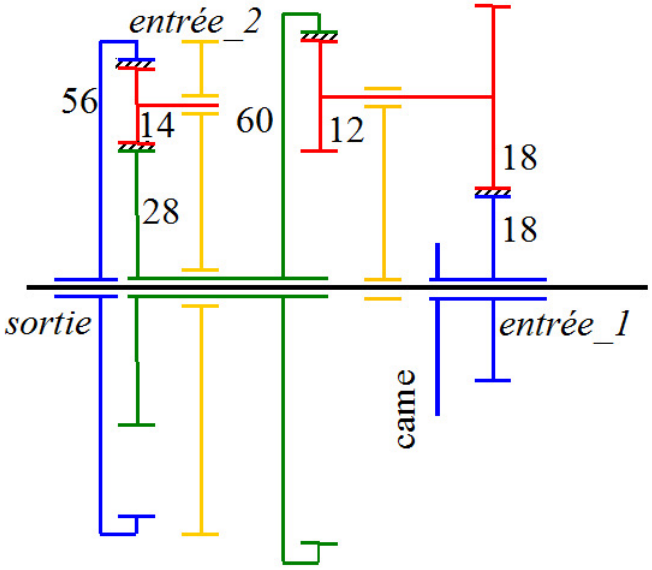
- *entrée_1* est divisé par 5
- l'énergie est stockée dans un ressort, libérée quand *entrée_1* passe de 9 à 0 et avance de 1/5 tour
- la somme est divisée par 2 et donne *sortie*
- cette *sortie* est *entrée_1* du chiffre suivant
- la *sortie* porte le tambour d'affichage



© Alain Guyot 2013

Totalisateur de la Burroughs de 1915





l' *entrée_1* (en bleu) est passée de 0 à 9
l'engrenage à 60 dents (en vert) n'a pas bougé.
il va progresser brusquement de 1/5 de tour
quand *entrée_1* passera de 9 à 0.

$$\frac{sortie}{entrée_1} = \frac{18}{18} \times \frac{12}{60} \times \frac{28}{14} \times \frac{14}{56} = \frac{1}{10}$$

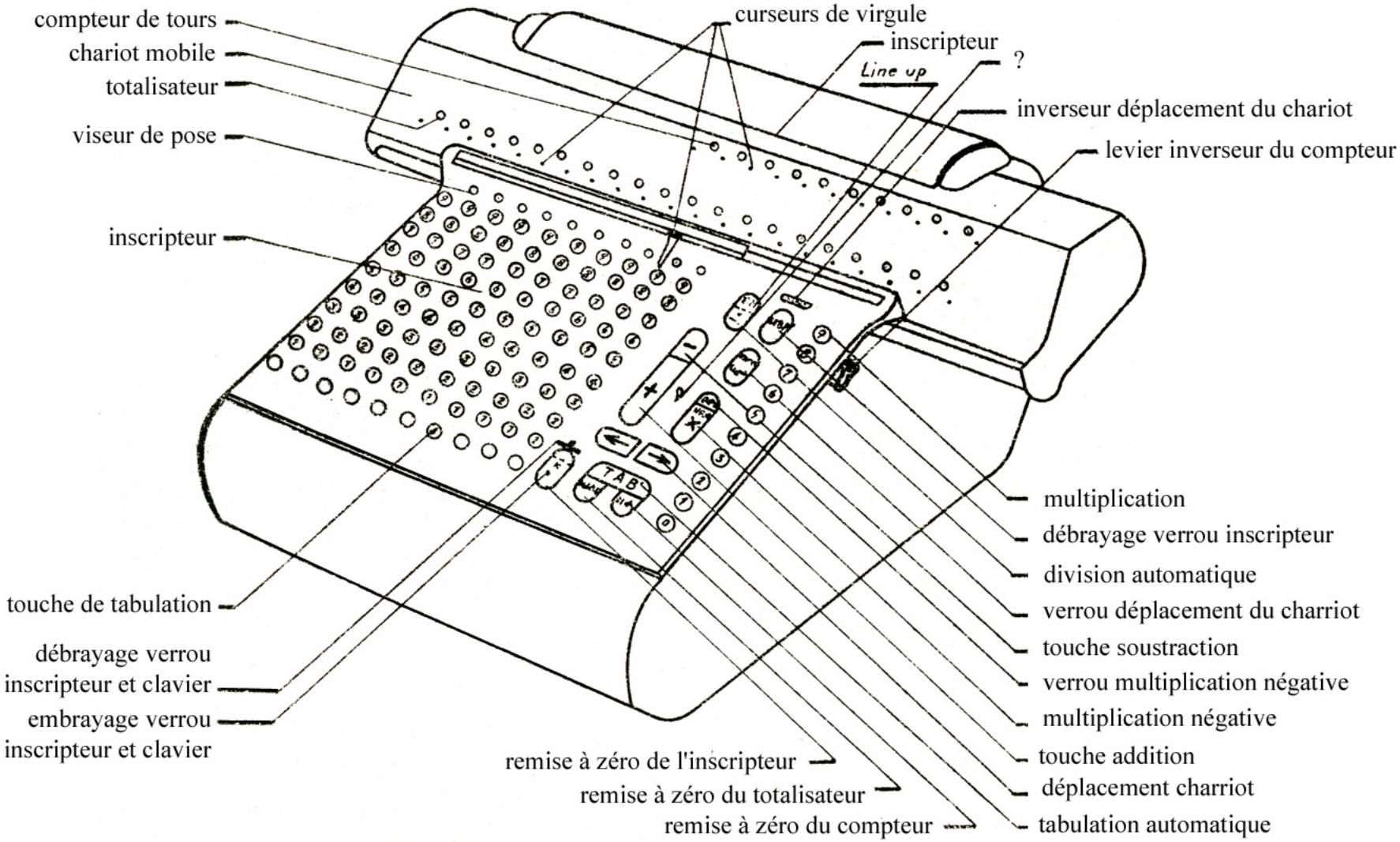
© Alain Guyot 2013

Marchant Figurematic de 1950

Utilise des *trains épicycloïdaux (2 par chiffre)*

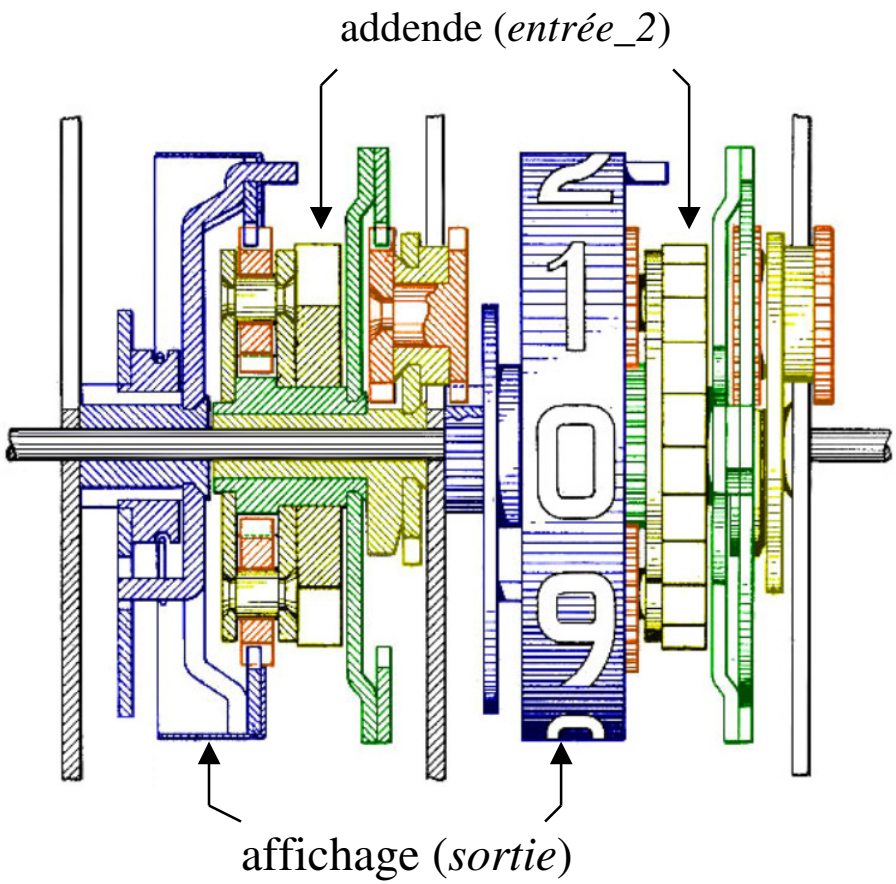
© Alain Guyot 2013

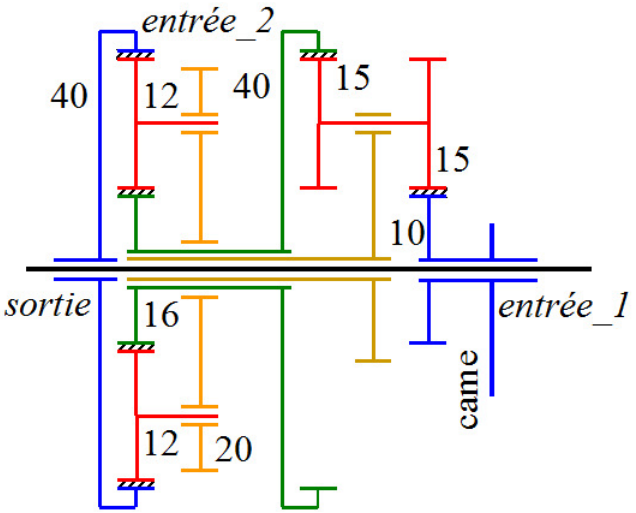
Marchant Figurematic de l' IMAG



© Alain Guyot 2013

Totalisateur de la Marchant

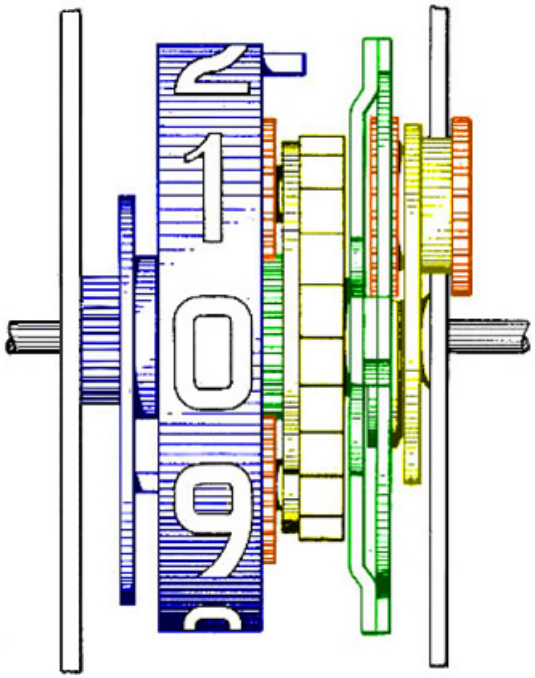




$$\frac{sortie}{entrée_1} = \frac{10}{15} \times \frac{15}{40} \times \frac{16}{12} \times \frac{12}{40} = \frac{1}{10}$$

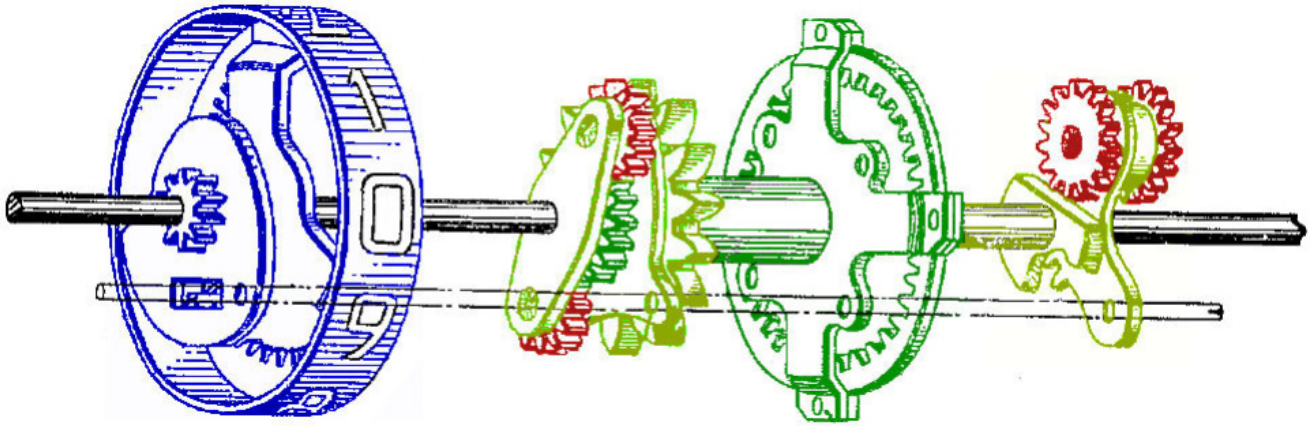
© Alain Guyot 2013

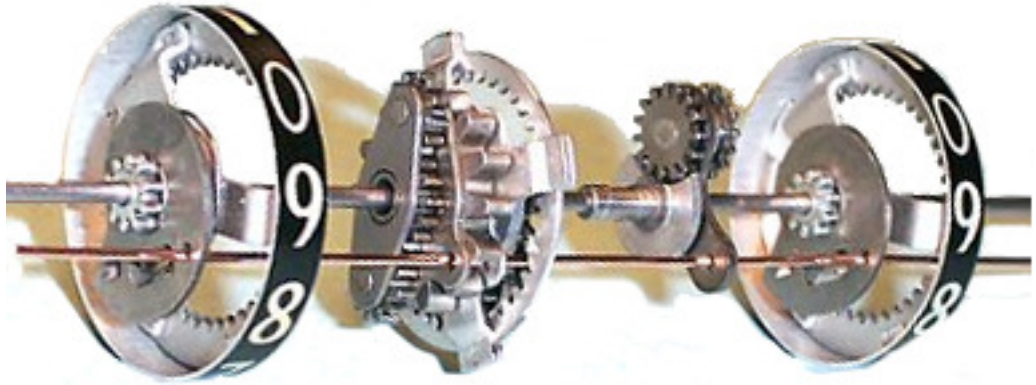
Éclaté du totalisateur de la Marchant



20 ensembles enfilés sur l'axe
pour le totalisateur et
10 pour le compteur de tours

La tige sert à aligner les engrenages pour le montage

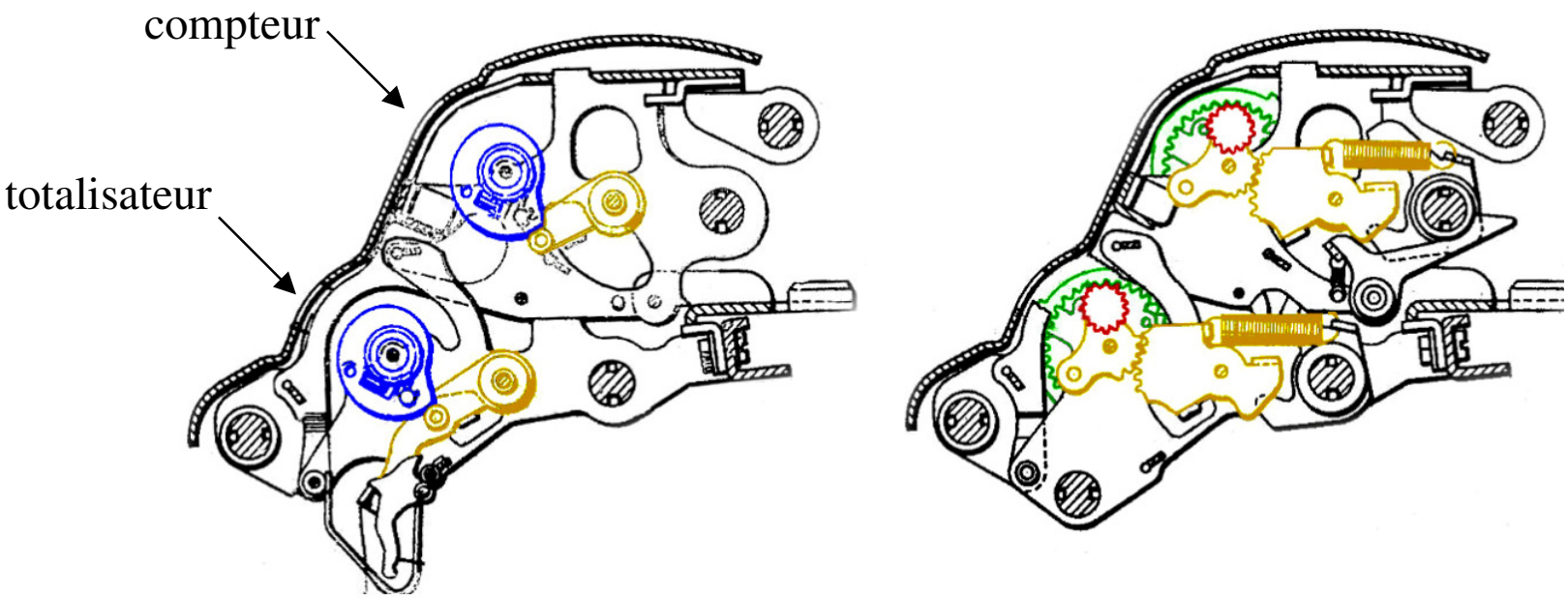




Brevet US2222164

© Alain Guyot 2013

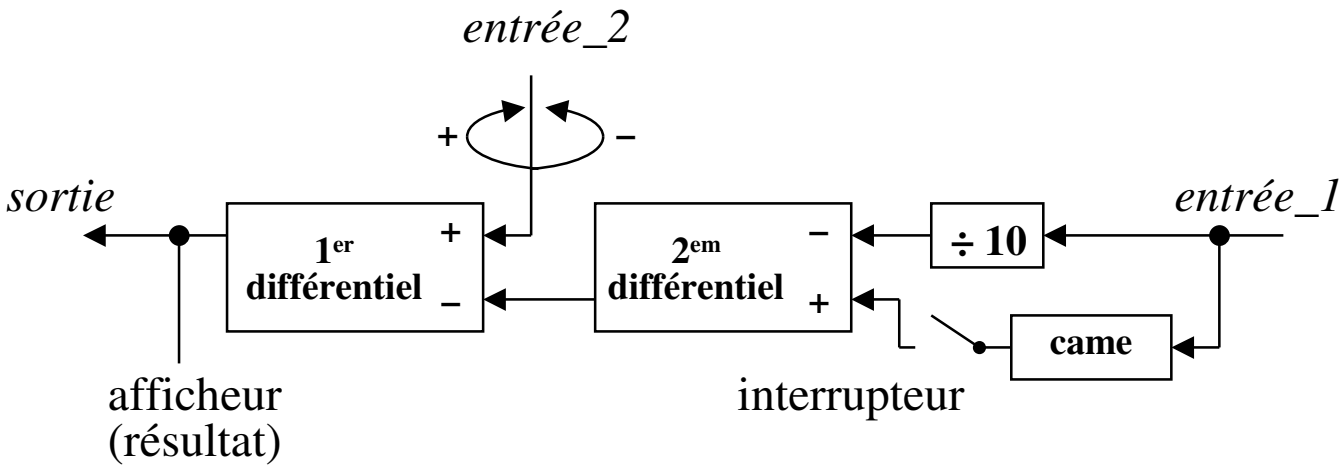
Chariot mobile de la Marchant



Deux coupes du chariot mobile de la Marchant Figurematic
En bleu les cames
En jaune les culbuteurs et les ressorts
En rouge les satellites
En vert les planétaires

© Alain Guyot 2013

Modèle du totalisateur de la Marchant



Deux modes :

1- interrupteur ouvert (culbuteurs relevés)

Peut tourner dans les deux sens (addition et soustraction) suivant *entrée_2*

plus de 20 additions/soustractions par seconde

mouvement continu, résultat continu

2- interrupteur fermé (culbuteurs poussés sur la came par un ressort)

Peut tourner dans un seul sens (addition) à cause de la came

seulement 6 additions/propagation par seconde

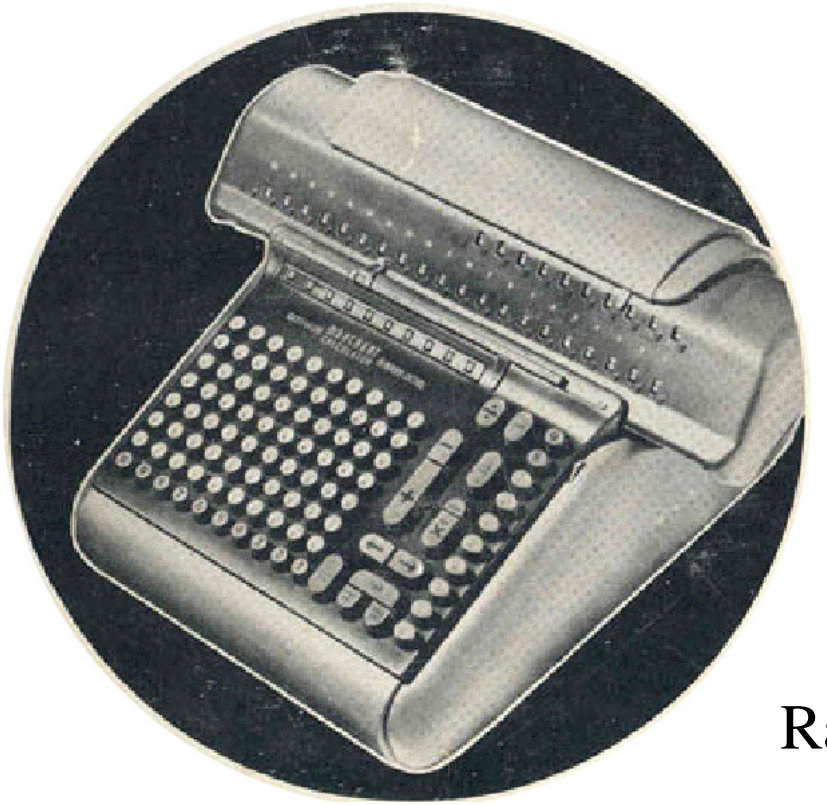
mouvement saccadé, résultat discret

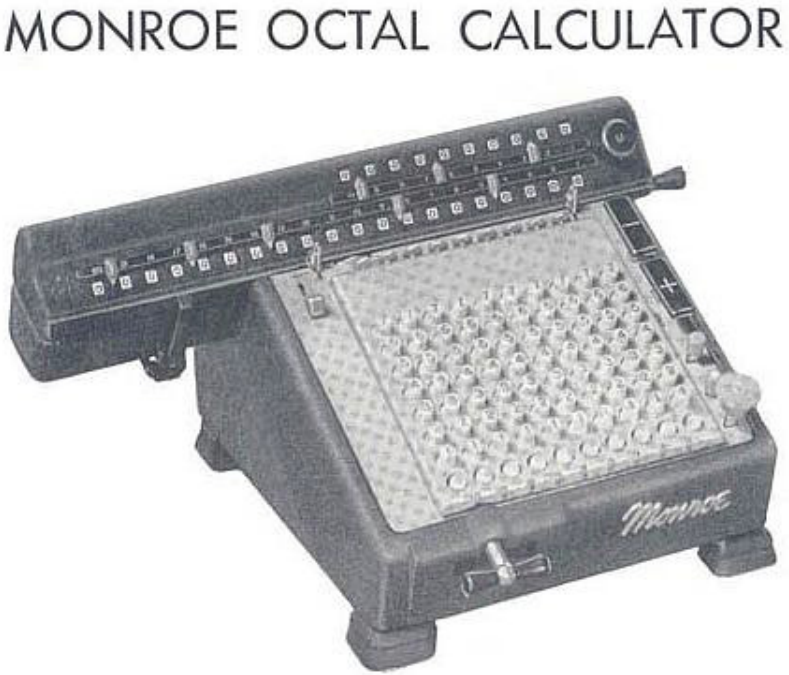
Si on fait tourner dans l'autre sens, la came bloque les chiffres à zéro.

© Alain Guyot 2013

Calculateurs mécaniques binaires

… variant of the Marchant, called the Binary-Octal Marchant, was a radix-8 (octal) machine. It was sold to check very early vacuum-tube (valve) binary computers for accuracy.

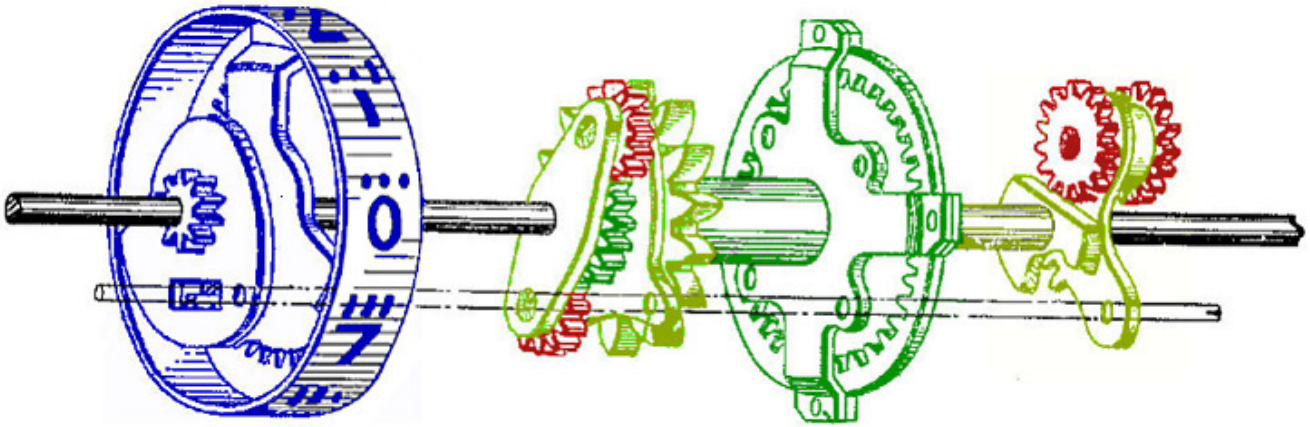


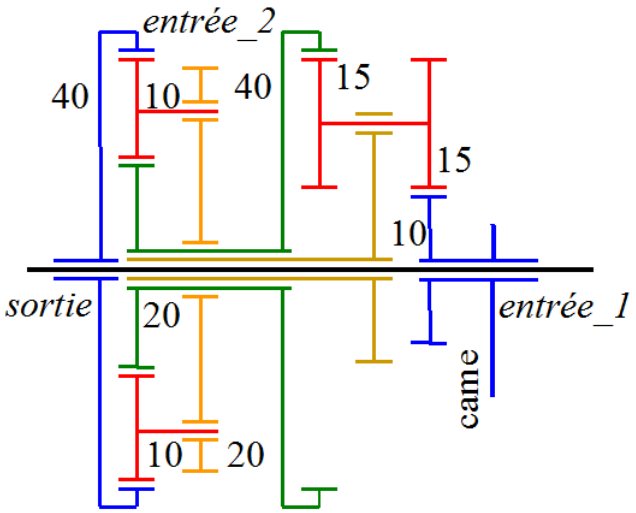


Raytheon Marchant binary-octal calculator

© Alain Guyot 2013

Totalisateur octal Marchant

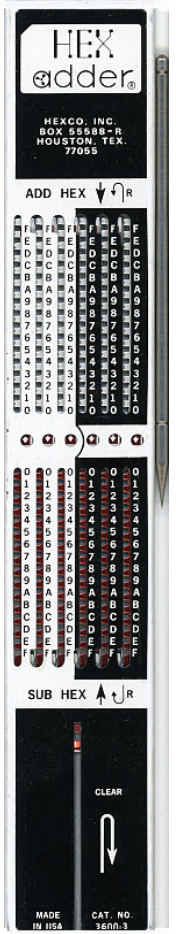


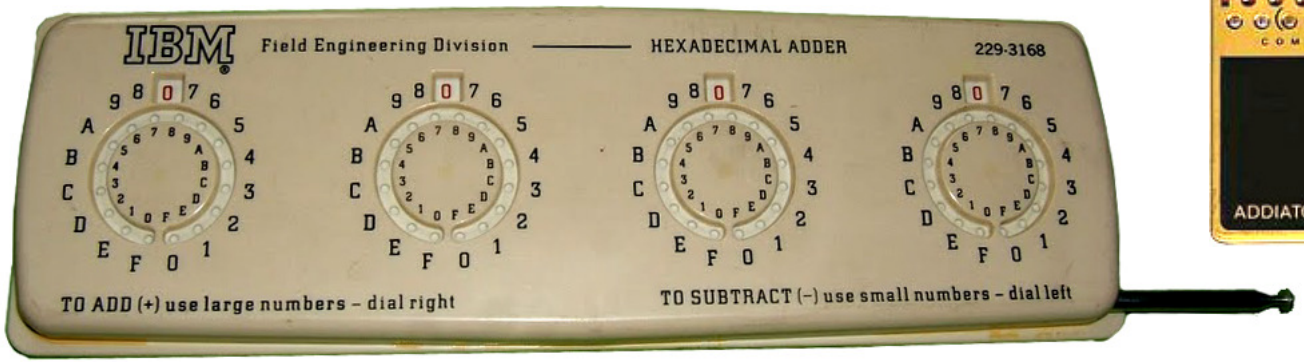


$$\frac{sortie}{entrée_1} = \frac{10}{15} \times \frac{15}{40} \times \frac{20}{10} \times \frac{10}{40} = \frac{1}{8}$$

© Alain Guyot 2013

Totalisateurs hexadécimaux





Pencil Box

© Alain Guyot 2013